



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ESTIMASI POTENSI ENERGI DAN BIAYA SISTEM PLTS
(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA) SKALA
RESIDENSIAL BERBASIS LOKASI DAN KONSTRUKSI
BANGUNAN**

Lexy Akbar
NRP 07111440000181

Dosen Pembimbing
Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D.
Dr.Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**ESTIMATION OF ENERGY POTENTIAL AND COST OF
PLTS SYSTEM RESIDENTIAL BASED SCALE OF
LOCATION AND BUILDING CONSTRUCTION**

Lexy Akbar
NRP 07111440000181

Advisor
Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D.
Dr.Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Estimasi Potensi Energi dan Biaya Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Skala Residensial Berbasis Lokasi dan Konstruksi Bangunan”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Oktober 2018

Lexy Akbar
NRP 07111440000181

**ESTIMASI POTENSI ENERGI DAN BIAYA SISTEM
PLTS(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA)
SKALA RESIDENSIAL BERBASIS LOKASI DAN
KONSTRUKSI BANGUNAN
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dedet C. Riawan, ST, M.Eng, Ph.D.
NIP 19731119 200003 1 001

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
NIP-195512071980031004

**SURABAYA
OKTOBER, 2018**

ESTIMASI POTENSI ENERGI DAN BIAYA SISTEM PLTS(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA) SKALA RESIDENSIAL BERBASIS LOKASI DAN KONSTRUKSI BANGUNAN

Nama : Lexy Akbar

Pembimbing I : Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D.

Pembimbing II : Dr.Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa merupakan negara tropis dengan intensitas penyinaran sinar matahari yang cukup baik. Potensi penyinaran matahari ini dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik dengan bantuan panel surya. Panel surya memiliki kelebihan yaitu rendah emisi bahkan tidak menghasilkan polusi. Namun kelemahannya panel surya menghasilkan daya output yang berubah-ubah bergantung iradiansi, temperatur dan letak geografis. Besar iradiansi bergantung terhadap sudut datang sinar matahari terhadap panel surya, sehingga penempatan panel surya sangat mempengaruhi dalam mendapatkan daya. Maka diperlukan sebuah perhitungan untuk memprediksi potensi daya yang dihasilkan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya dan juga diperlukan perhitungan untuk membantu memprediksikan biaya yang diperlukan dalam instalasi PLTS skala residensial agar kebutuhan menggunakan panel surya tidak menjadi kerugian bagi pengguna, bahkan sebaliknya menjadi sumber keuntungan. Pada tugas akhir ini perhitungan dilakukan menggunakan *Microsoft Excel 2016* untuk menghitung potensi energi yang dihasilkan panel surya dalam kurun waktu satu tahun dan menghitung biaya yang diperlukan untuk kebutuhan instalasi.

Kata kunci : Biaya Instalasi, Estimasi Potensi Energi, Letak Geografis

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

ESTIMATION OF ENERGY POTENTIAL AND COST OF PLTS SYSTEM RESIDENTIAL BASED SCALE OF LOCATION AND BUILDING CONSTRUCTION

Name : Lexy Akbar
1st Advisor : Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D.
2nd Advisor : Dr.Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Indonesia is located on the equator is a tropical country with a good intensity of sunlight exposure. This solar radiation potential can be utilized to be a source of electrical energy with the help of solar panels. Solar panels have the advantage that low emissions do not even generate pollution. But the weakness of solar panels produces power output that varies depending on iradiansi, temperature and geographic location. Large iradiansi depending on the angle of sunlight coming to the solar panel, so the placement of solar panels greatly affect in get output power. A calculation is needed to predict the potential power generated by considering the factors that influence it and also the calculations to help predict the cost required in residential-scale PLTS installation so that the need to use solar panels is not a disadvantage to the user, otherwise it becomes a source of profit. In this final project calculations are performed using Microsoft Excel 2016 to calculate the energy potential of solar panels produced within a year and calculate the cost required for installation needs.

Keywords : Cost Installation, Estimation of potential energy, Location

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul *“Estimasi Potensi Energi dan Biaya Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Skala Residensial Berbasis Lokasi dan Konstruksi Bangunan”*.

Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam proses penyusunan buku ini terdapat pihak-pihak yang sangat berjasa dalam membantu terwujudnya buku ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan hikmat dan rahmatnya hingga penyusunan buku Tugas Akhir ini berakhir
2. Kedua orang tua, kakak, dan segenap keluarga penulis yang selalu memberikan semangat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
3. Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D. dan Dr.Ir. Soedibyo M.MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh teman-teman yang telah membantu pelaksanaan Tugas Akhir ini, yaitu Hakim dan Eky.
5. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, teman-teman e54, para dosen dan karyawan atas dukungan, masukan serta kerjasamanya sepanjang masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik, saran serta koreksi yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Oktober 2018

Penulis

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	4
BAB 2 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA	5
2.1 PLTS TERHUBUNG GRID	5
2.2 <i>Rooftop</i> Panel Surya	5
2.3 Posisi Matahari	6
2.3.1 Sudut Latitude	6
2.3.2 Sudut Longitude	7
2.3.3 Sudut Azimut	7
2.3.4 Sudut Altitude	10
2.4 Sudut Panel Surya	10
2.4.1 Sudut Kolektor (Σ)	10

2.4.2 Sudut Azimut Kolektor (θ_c).....	10
2.5 Iradiansi Panel Surya	11
2.5.1 Iradiansi Langsung	11
Iradiansi Tersebar.....	12
2.5.2 Iradiansi Pantulan	13
2.5.3 Iradiansi Total	13
2.6 Biaya Instalasi	14
2.6.1 Kebutuhan Alat Instalasi.....	14
2.6.2 Kebutuhan Teknisi dan Operasional.....	15
BAB 3 PEMODELAN ESTIMASI POTENSI ENERGI DAN BIAYA INSTALASI PLTS.....	17
3.1 ESTIMASI POSISI MATAHARI.....	17
3.1.1 Estimasi Sudut Altitude dan Sudut Azimut	18
3.2 MODEL ESTIMASI IRADIANSI MATAHARI	20
3.2.1 Iradiansi Langsung	21
3.2.2 Iradiansi Tersebar	23
3.2.3 Iradiansi Pantulan	24
3.2.4 Iradiansi Total	24
3.3 ESTIMASI POTENSI ENERGI	25
3.4 ESTIMASI BIAYA INSTALASI	26
BAB 4 SIMULASI DAN ESTIMASI POTENSI DAYA DAN BIAYA SISTEM PLTS SKALA RESIDENSIAL BERBASIS LOKASI DAN KONSTRUKSI BANGUNAN.....	27
4.1 Simulasi dan Analisis Posisi Matahari	27
4.2 Analisa Iradiansi.....	28
4.2.1 Analisa Estimasi Iradiansi Langsung	29
4.2.2 Analisa Estimasi Iradiansi Tersebar	29

4.2.3 Analisa Estimasi Iradiansi Pantulan	30
4.2.4 Analisa Estimasi Iradiansi Total	30
4.3 Potensi Energi	33
4.4 Analisa Biaya Instalasi	34
4.4.1 Biaya Peralatan	34
4.4.2 Biaya Operasional	37
4.4.3 Total Biaya	38
BAB 5 PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	41
BIOGRAFI PENULIS	43

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
Gambar 2.2 Rooftop Panel Surya.....	6
Gambar 2. 3 Sudut Latitude pengamat di sebelah utara	7
Gambar 2. 4 Sudut Azimut Matahari	8
Gambar 2. 5 Sudut Deklinasi	9
Gambar 2. 6 Hour angle.....	9
Gambar 2. 7 Sudut kolektor	10
Gambar 2. 8 Sudut Azimut Kolektor.....	11
Gambar 2. 9 Iradiansi Langsung	12
Gambar 2. 10 Iradiansi Tersebar	13
Gambar 2. 11 Iradiansi Pantulan	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Estimasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Sudut Deklinasi selama satu tahun.....	18
Gambar 3. 3 Posisi Matahari.....	20
Gambar 3. 4 Rooftop Panel Surya denga sudut 0°	21
Gambar 3. 5 Kurva Iradiansi Total.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Kurva Posisi Matahari	27
Gambar 4. 2 Denah Rumah.....	28
Gambar 4. 6 Kurva Iradiansi Total Kolektor 1	31
Gambar 4. 7 Kurva Iradiansi Total Kolektor 2	32
Gambar 4. 8 Kurva Iradiansi Total Kedua Kolektor	32
Gambar 4. 9 Luas atap yang dipasang Panel Surya	33

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Sudut Kolektor.....	28
Tabel 4. 2 Sudut Azimut Kolektor	28
Tabel 4. 3 Spesifikasi Panel Surya	34
Tabel 4. 4 Spesifikasi Exim Meter	35
Tabel 4. 5 Spesifikasi Inverter	35
Tabel 4. 6 Kalkulasi Biaya Peralatan	37
Tabel 4. 7 Kalkulasi Biaya Operasional	38
Tabel 4. 8 Kalkulasi Biaya Total	38

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa yang menyebabkan memiliki iklim tropis yaitu musim kemarau dan musim hujan. Melihat kondisi geografis yang memiliki penyinaran cukup lama oleh sinar matahari seharusnya dapat menjadi sumber keuntungan bagi Indonesia terutama di bidang energi[1]. Ketersediaan energi fosil semakin hari mulai menipis ditambah pemanasan global yang terus meningkat akibat polusi hasil pemakaian energi minyak bumi yang tidak ramah lingkungan. Panel surya atau yang juga disebut fotovoltaik merupakan teknologi yang berguna mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Namun panel surya memiliki karakteristik terhadap daya output yang dihasilkan. Hal ini bergantung terhadap beberapa parameter seperti jumlah iradiansi, temperatur dan letak geografis panel surya itu sendiri.

Iradiansi merupakan faktor penting dalam menghasilkan daya output, dimana iradiansi ini berubah-ubah tiap jam karena bergantung posisi matahari terhadap panel surya. Apabila iradiansi yang diperoleh tidak sesuai dengan yang dibutuhkan panel surya, maka tentu daya output yang dihasilkan panel surya juga tidak maksimal. Iradiansi maksimal yang bisa diberikan sinar matahari yaitu saat kondisi langit cerah. Kemudian selain iradiansi, letak geografis juga memberi dampak pada kinerja panel surya. Apabila penempatan panel surya tidak diperhitungkan dengan baik dan benar, akan menjadikan sebuah kerugian dalam instalasi panel surya tersebut[2]. Penempatan panel surya yang tidak benar menimbulkan efek *shading* sehingga kinerja panel surya tidak bekerja dengan optimal. Semakin banyak efek *shading* yang diterima panel surya, maka semakin sedikit daya output yang dihasilkan panel surya. Iradiansi dan letak geografis harus diperhitungkan untuk mengurangi *losses* pada panel surya sehingga daya yang dihasilkan selalu maksimal.

Selain dibutuhkan teknologi yang ramah lingkungan, harga yang terjangkau menjadi sebuah keharusan bagi masyarakat Indonesia. Setelah potensi daya diperhitungkan, maka dapat dihitung pula besarnya harga instalasi kebutuhan PLTS pada skala residensial. Tentu dengan mempertimbangkan standar yang ada untuk mutu dan kualitas PLTS

tersebut. Perhitungan yang akan dilakukan pada penelitian ini menggunakan Microsoft Excel 2016.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Estimasi Iradiansi matahari di suatu wilayah selama satu tahun.
2. Estimasi potensi energi ideal yang dihasilkan selama satu tahun.
3. Perhitungan biaya instalasi PLTS skala residensial berbasis lokasi dan konstruksi bangunan.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh posisi matahari terhadap besarnya iradiansi yang bisa digunakan panel surya untuk diubah menjadi energi listrik.
2. Estimasi potensi daya ideal yang bisa dihasilkan panel surya berdasarkan parameter iradiansi dan letak penempatan panel surya.
3. Estimasi besarnya biaya yang diperlukan untuk membangun PLTS skala residensial berbasis lokasi dan konstruksi bangunan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Estimasi potensi energi hanya bergantung faktor iradiansi dan letak geografis.
2. Estimasi kebutuhan biaya instalasi tanpa memperhitungkan *cost and benefit analysis*.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Studi literatur
Studi literatur dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir agar penguasaan materi lebih baik. Studi yang akan dilakukan mengenai kinerja panel surya, posisi matahari dan harga peralatan untuk kebutuhan instalasi.

2. Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilaksanakan agar dapat menyelesaikan masalah tentang posisi matahari terhadap letak PLTS dan harga peralatan beserta spesifikasinya untuk kebutuhan instalasi PLTS skala residensial.
3. Pemodelan dan Simulasi Sistem
Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan maka selanjutnya adalah mengolah data, memodelkan alur perhitungan untuk melakukan estimasi pada *Microsoft Excel 2016* agar diperoleh daya ideal yang dihasilkan panel surya dan membuat desain perhitungan biaya investasi dalam pembuatan PLTS skala residensial menggunakan *software Microsoft Excel 2016*.
4. Analisis Data
Dari hasil simulasi akan didapatkan posisi matahari untuk kemudian dihitung iradiansi yang diperoleh. Kemudian diolah pada *software Microsoft Excel 2016* untuk mendapatkan daya output ideal panel surya. Selanjutnya dari daya output yang dihasilkan bisa dihitung besarnya biaya untuk instalasi PLTS menggunakan *software Microsoft Excel 2016*.
5. Penulisan Buku Tugas Akhir.
Penulisan laporan adalah rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa rangkaian metodologi diatas untuk menggambarkan hasil serta analisis dan simulasi yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan
Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi dan manfaat tugas akhir.
2. BAB 2 Dasar Teori
Bab ini secara garis besar membahas tentang teori penunjang yang digunakan dalam pembahasan tugas akhir ini, yang meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *rooftop* panel surya, potensi daya panel surya, dan estimasi kebutuhan biaya instalasi.

3. BAB 3 Pemodelan Estimasi Potensi Energi dan Biaya Instalasi PLTS
Bab ini membahas tentang pemodelan potensi energi PLTS yang mempertimbangkan pengaruh iradiansi dan letak geografis penempatan panel surya. Kemudian dimodelkan kebutuhan biaya dalam instalasi.
4. BAB 4 Simulasi dan Analisis
Bab ini membahas iradiansi pengaruh perubahan posisi matahari terhadap letak panel surya dengan menggunakan *Microsoft Excel 2016*. Analisis dilakukan melalui perbandingan antara data hasil estimasi dengan data yang ada di lapangan. Selanjutnya, akan dibahas mengenai kebutuhan biaya untuk instalasi.
5. BAB 5 Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis pengaruh iradiansi dan letak geografis penempatan panel surya terhadap potensi daya yang dihasilkan panel surya yang telah diperoleh melalui estimasi serta analisis biaya kebutuhan dalam instalasi.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Tugas akhir ini relevan dalam bidang teknik sistem tenaga dalam mencari solusi sumber energi baru dan terbarukan khususnya pada PLTS. Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

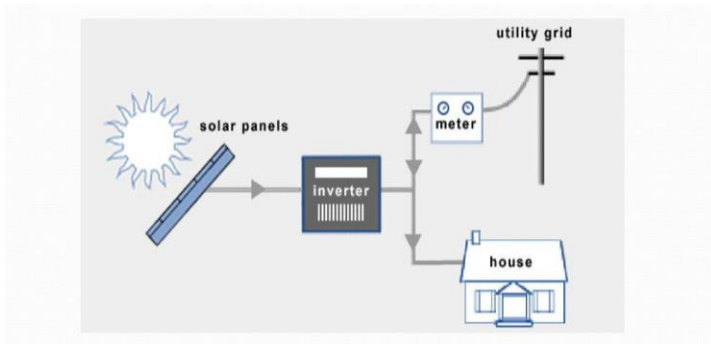
1. Dapat diterapkan di dunia sebagai solusi sumber energi terbarukan.
2. Dapat dijadikan pertimbangan dalam penggunaan PLTS
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil permasalahan yang serupa untuk Tugas Akhirnya.

BAB 2

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

2.1 PLTS TERHUBUNG GRID

Pembangkit listrik tenaga surya atau sering disingkat PLTS merupakan pembangkit yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. PLTS memanfaatkan teknologi semikonduktor yang berupa panel surya atau sering disebut fotovoltaik dimana untuk menghasilkan listrik benda ini menggunakan perbedaan tegangan akibat fotoelektrik, fotoelektrik ini disebabkan oleh adanya sinar matahari mengenai lapisan P dan terlepas, sehingga proton mengalir pada lapisan N dibagian bawah dan perpindahan proton ini menimbulkan arus listrik. Energi yang dihasilkan dari panel surya kemudian dialirkan ke inverter untuk menjadikan listrik DC. Setelah itu langsung dihubungkan ke jaringan milik PT.PLN dengan di monitoring oleh exim meter.

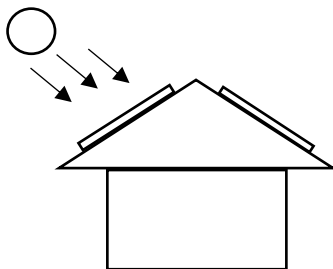


Gambar 2.1 *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*

2.2 Rooftop Panel Surya

Pada bangunan konvensional, atap berfungsi untuk penutup atas suatu bangunan. Masyarakat masih sedikit sekali yang memanfaatkan atap bangunannya untuk menghasilkan energi. Sistem rooftop fotovoltaik merupakan solusi alternatif sebagai penghasil energi tanpa emisi yang memanfaatkan energi sinar matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik. Fotovoltaik diletakkan diatas atap bangunan dengan sudut kemiringan tertentu agar menghasilkan potensi energi yang

maksimal. Selain berguna untuk menghasilkan energi listrik, hal ini juga berpotensi menjadi sumber keuntungan anda apabila energi yang dihasilkan justru berlebih dari kebutuhan sehingga terbeli oleh pihak PT.PLN.



Gambar 2.2 *Rooftop Panel Surya*

Penggunaan panel surya pada atap rumah bisa menjadikan keuntungan tersendiri bagi pemilik rumah, selain di Indonesia memiliki intensitas pencahayaan matahari yang tinggi. Pemanfaatan PLTS pada atap rumah saat ini banyak menggunakan sistem *Grid Connect* yang salah satu karakteristiknya adalah sistem PLTS harus memiliki *kemampuan anti islanding* yaitu kemampuan otomatis sistem untuk terputus ketika sumber koneksi jaringan PT.PLN terputus.

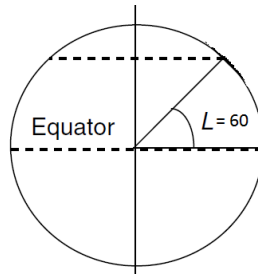
2.3 Posisi Matahari

Kinerja panel surya juga dipengaruhi oleh arah datangnya sinar matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Posisi matahari memberikan efek tersendiri terhadap daya keluaran(*output*) panel surya. Seringkali panel surya tidak menghasilkan daya keluaran dengan baik karena penempatannya tidak sesuai terhadap arah datangnya sinar matahari. Tata letak panel surya agar menghasilkan daya keluaran yang maksimal adalah senantiasa dipasang tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari.

2.3.1 Sudut Latitude

Sudut latitude (garis lintang) adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari khatulistiwa, utara positif ; $-90^{\circ} \leq L \leq 90^{\circ}$ dimana sudut

yang diukur dari pusat bumi , antara posisi pengamat dan ekuator. Nilai latitut bervariasi antara 0° sampai 90° bernilai positif untuk wilayah di utara garis ekuator dan negatif untuk daerah di selatan garis ekuator.



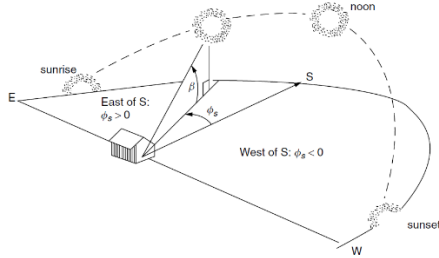
Gambar 2. 3 *Sudut Latitude pengamat di sebelah utara*

2.3.2 Sudut Longitude

Sudut longitude adalah sudut bujur suatu tempat terhadap garis horizon. Dimana daerah Indonesia paling barat atau paling dekat dengan garis horizon berada pada di daerah Aceh dengan sudut longitude 105° . Indonesia yang terbagi menjadi 3 wilayah yaitu Indonesia bagian barat, tengah dan timur menyebabkan perbedaan waktu sebanyak 1 jam. Dimana waktu wilayah timur memiliki nilai waktu 1 jam lebih awal daripada nilai wilayah tengah. Dan wilayah tengah memiliki selisih waktu 1 jam lebih dulu daripada wilayah barat.

2.3.3 Sudut Azimut

Sudut azimut adalah penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horizontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.



Gambar 2. 4 Sudut Azimut Matahari

Sudut Azimut dapat diperoleh persamaan[3]:

$$\phi_s = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} \right) \quad (2.1)$$

Dengan :

δ = sudut deklinasi (derajat)

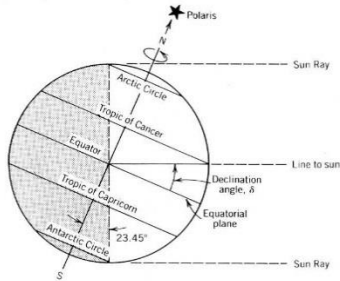
H = sudut jam (derajat)

β = sudut altitude (derajat)

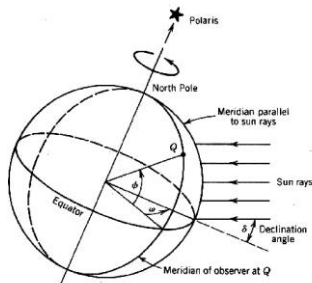
Dalam menentukan sudut azimut, ada saat azimut lebih besar atau kurang dari 90° . Dan untuk menentukan hal tersebut perlu persyaratan tambahan untuk menentukan azimut yang benar. Berikut syarat dalam penentuan sudut azimut:

$$\cos \omega \geq \frac{\tan \delta}{\tan L}, \text{ maka } |\phi_s| \leq 90^\circ, \text{ lainnya } |\phi_s| \geq 90^\circ$$

Namun dalam perhitungan sudut azimut matahari diperlukan parameter sudut deklinasi dan sudut jam matahari (*hour angle*).



Gambar 2. 5 Sudut Deklinasi



Gambar 2. 6 Hour angle

Dua parameter tersebut dapat diperoleh dengan persamaan :

$$H = (ST - 12) \times 15^\circ \quad (2.2)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{(n-81)}{365} \cdot 360 \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

ST = Solar Time

n = hari ke

2.3.4 Sudut Altitude

Sudut altitude adalah ketinggian suatu objek yang diukur dari garis horizon. Sudut altitude sebagai penanda bahwa panel surya tersebut berada dimana terhadap matahari. Hal ini dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (2.4)$$

Dengan :

β = sudut altitude (derajat)

L = sudut latitude (derajat)

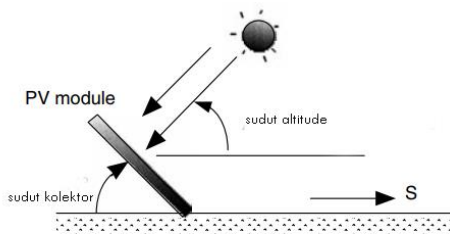
H = sudut jam matahari (derajat)

δ = sudut deklinasi (derajat)

2.4 Sudut Panel Surya

2.4.1 Sudut Kolektor (Σ)

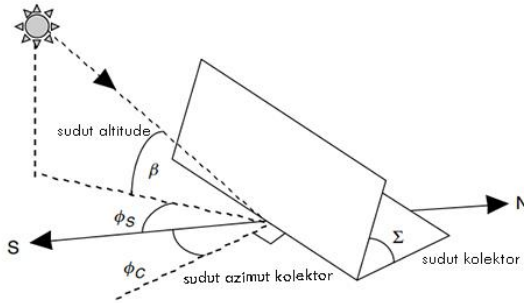
Sudut kolektor adalah sudut penempatan panel surya terhadap posisi horizontal. Sudut ini ditentukan sesuai kebutuhan.



Gambar 2. 7 *Sudut kolektor*

2.4.2 Sudut Azimut Kolektor (θ_c)

Sudut azimut kolektor adalah sudut azimut yang terbentuk pada penempatan panel surya. Sudut ini ditentukan sesuai kebutuhan.



Gambar 2. 8 Sudut Azimut Kolektor

2.5 Iradiansi Panel Surya

Iradiansi merupakan radiasi matahari yang dapat dijadikan energi per luas area (meter persegi).

2.5.1 Iradiansi Langsung

Iradiansi langsung atau sering disebut *direct-beam radiation* adalah intensitas sinar matahari yang langsung mengenai permukaan panel surya. Hal ini dapat diperoleh melalui persamaan[4] :

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (2.5)$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2.6)$$

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad (2.7)$$

$$Ib = Ae^{-km} \quad (2.8)$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos(\theta_s - \theta_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma \quad (2.9)$$

$$Ibc = Ib \cos \theta \quad (2.10)$$

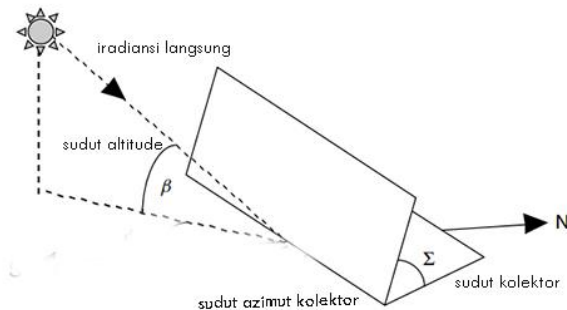
Dengan :

A = Apparent Extraterrestrial Flux (Watt/m²)

k = Optical depth

I_b = Irradiansi Sinar matahari saat cerah (Watt/m²)

I_{bc} = Irradiansi yang ditangkap panel surya (Watt/m²)



Gambar 2. 9 Irradiansi Langsung

Irradiansi Tersebar

Irradiansi tersebar adalah intensitas sinar matahari yang tersebar akibat benturan atau gesekan oleh awan, atmosfer bumi atau bidang lain kemudian mengenai panel surya. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

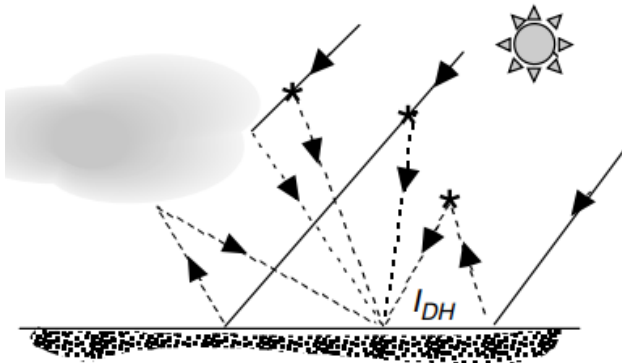
$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2.11)$$

$$I_{dh} = C \times I_b \quad (2.12)$$

$$I_{dc} = I_{dh} \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2.13)$$

Dengan :

- C = Faktor difusi langit
 I_{dh} = Iradiansi ketika difusi (Watt/m²)
 I_{dc} = Iradiansi yang dihasilkan panel surya (Watt/m²)
 Σ = Sudut Panel surya (derajat)



Gambar 2. 10 *Iradiansi Tersebar*

2.5.2 Iradiansi Pantulan

Iradiansi pantulan adalah intensitas sinar matahari yang dipantulkan oleh sungai, laut atau bidang lain kemudian mengenai panel surya. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_{rc} = \rho I_b (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2.13)$$

Dengan :

I_{rc} = Iradiansi pantul yang diterima panel surya (Watt/m²)

ρ = koefisien pantul permukaan panel surya

2.5.3 Iradiansi Total

Iradiansi total yang diterima oleh panel surya dalam keadaan langit cerah adalah hasil dari penjumlahan iradiansi keseluruhan yaitu iradiansi

langsung ditambah dengan irradiansi tersebar dan irradiansi pantul. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \quad (2.14)$$

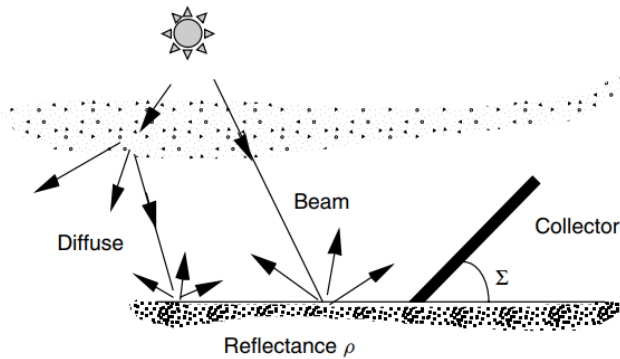
$$P_{in} = I_c \times A \quad (2.15)$$

Dengan :

I_c = Irradiansi Total (Watt/m²)

P_{in} = Daya Input akibat irradiansi matahari (Watt)

A = Luas permukaan panel surya (m²)



Gambar 2. 11 *Irradiansi Pantulan*

2.6 Biaya Instalasi

Dalam membuat sebuah PLTS diperlukan estimasi instalasi agar tidak menimbulkan kerugian bagi calon pemakai atau setidaknya agar PLTS bisa berjalan dengan baik serta menghasilkan energi sesuai perhitungan.

2.6.1 Kebutuhan Alat Instalasi

Dalam pembuatan PLTS skala residensial berbasis lokasi dan konstruksi bangunan dibutuhkan peralatan pokok yang harus disediakan

agar bisa menghasilkan sumber energi listrik yang layak pakai dan aman bagi pengguna maupun lingkungan sekitarnya serta semua spesifikasi peralatan yang dibutuhkan harus disesuaikan dengan kondisi penempatan PLTS[5]. Pada penelitian ini PLTS yang dibuat berbasis *grid connected* atau terhubung langsung dengan jala-jala jaringan milik PT.PLN tanpa disimpan oleh baterai.

2.6.1.1 Panel Surya Modul

Panel surya modul adalah alat yang diperlukan pada PLTS sebagai media untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Hasil daya yang dikeluarkan merupakan listrik DC.

2.6.1.2 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika daya yang berfungsi melakukan konversi atau mengubah tegangan DC yang dihasilkan panel surya modul menjadi listrik tegangan AC.

2.6.1.3 Mounting System

Mounting system pada atap rumah berfungsi sebagai penyangga panel surya. Biasanya terdiri dari bahan rangka aluminium yang bentuknya menyesuaikan atap bentuk rumah.

2.6.2 Kebutuhan Teknisi dan Operasional

Dalam instalasi dibutuhkan teknisi yang bertugas untuk memasang seluruh peralatan dalam pembuatan PLTS. Keberlangsungan teknisi ditunjang oleh kebutuhan operasional yang memadai. Maka dari itu aspek teknisi dan operasional perlu diperhitungkan[6].

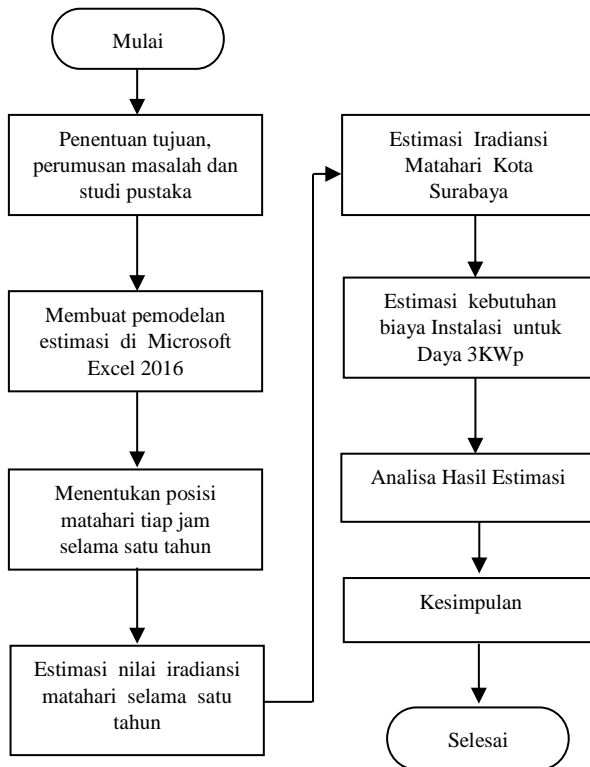
---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 3

PEMODELAN ESTIMASI POTENSI ENERGI DAN BIAYA INSTALASI PLTS

3.1 ESTIMASI POSISI MATAHARI

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan mulai dari studi literatur, pengumpulan data, pemodelan dan simulasi sistem hingga pembuatan program untuk simulasi sehingga pada akhir dari penelitian ini akan ditarik kesimpulan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :

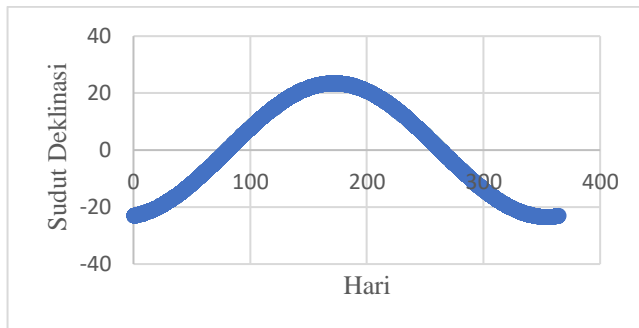


Gambar 3. 1 *Diagram Alir Estimasi*

3.1.1 Estimasi Sudut Altitude dan Sudut Azimut

Pada penelitian ini akan dibuat perhitungan potensi daya panel surya dengan tahap utama adalah menghitung sudut azimut dan altitude matahari untuk menentukan posisi matahari yang berubah-ubah setiap jam. Posisi matahari bergantung dimana letak kita berada atau sering kali ditentukan dengan sudut latitude. Estimasi ini menggunakan *software Microsoft Excel 2016*. Posisi matahari sepanjang hari dapat dijelaskan dengan sudut ketinggian β (sudut altitude) dan sudut azimut θ_s . Dimana untuk menentukan posisi matahari yang berubah-ubah setiap waktu diperlukan waktu matahari (*solar time*) yang terdiri dari jam 1 hingga jam 24. Setelah itu diperlukan sudut jam matahari, dimana sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam. Sebelum jam 12.00 bernilai negatif, setelah jam 12.00 bernilai positif. Nilai “n” pada sudut jam adalah hari ke berapa yang akan dihitung. Misal, menghitung pada tanggal 1 januari, maka nilai n yang dipakai adalah 1 karena 1 januari adalah hari pertama dan 31 Desember adalah hari ke 365.

Setelah diperoleh nilai *hour angle*, selanjutnya mencari nilai sudut deklinasi. Dimana sudut deklinasi menentukan seberapa jauh posisi bumi terhadap matahari yang setiap hari berubah-ubah. Perhitungan sudut deklinasi selama satu tahun menggunakan persamaan 2.2.



Gambar 3. 1 Sudut Deklinasi selama satu tahun

Pada gambar 3.2 menunjukkan bahwa posisi terjauh matahari berada saat tanggal 21 Juni atau hari ke 172 dan pada tanggal 21 Desember atau hari ke 355. Nilai Altitude dapat dihitung menggunakan parameter sudut jam dan sudut deklinasi. Hal ini diperoleh menggunakan persamaan 2.1. Kemudian setelah diperoleh besar sudut altitude selama satu tahun, maka dapat dihitung sudut azimuth selama satu tahun dengan persamaan 2.3 dimana misal pada hari pertama yaitu pada tanggal 1 Januari pukul 11 siang.

$$= 23,45 \sin \left(\frac{360}{365} (1 - 81) \right)$$

$$= -23,00116^\circ$$

$$H = (11 - 12) \times 15^\circ$$

$$= -15^\circ$$

$$\sin \beta = \cos L \cos H \cos \delta + \sin L \sin \delta$$

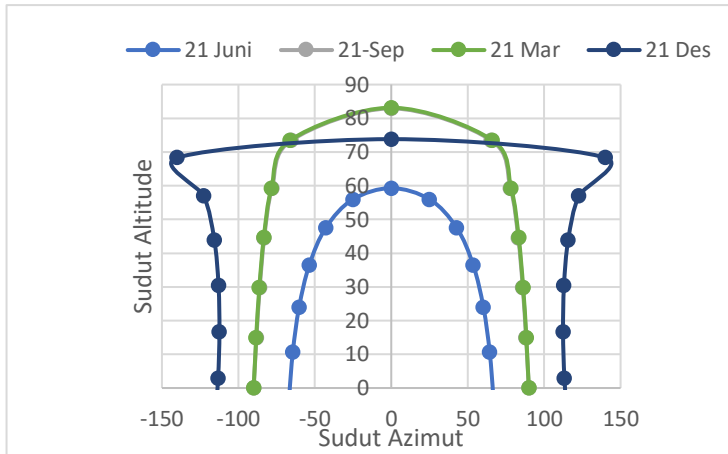
$$= \cos(-7.27^\circ) \cos(-15^\circ) \cos(23,00116^\circ) + \sin(-7.27^\circ) \sin(23,00116^\circ)$$

$$\beta = 68,651^\circ$$

$$\sin \theta_s = \frac{\cos L \sin H}{\cos \beta}$$

$$= \frac{\cos(-7,27^\circ) \sin(15^\circ)}{\cos 68,651^\circ}$$

$$\theta_s = -139,125^\circ$$



Gambar 3. 2 Posisi Matahari

Sudut azimut dan sudut altitude itu akan dikombinasikan dan menghasilkan pola jalur yang dilewati matahari mulai matahari terbit sampai matahari terbenam. Tentunya kedua sudut ini tidak lepas dari persamaan 2.1 dan 2.4 yang dihitung selama 365 hari sehingga terbentuklah diagram seperti gambar 3.3. Sudut azimut dan sudut altitude akan berperan dalam penempatan panel surya modul. Pada perhitungan ini sudut latitude sebesar -7.27° dan sudut longitude sebesar $112,7521^\circ$ dimana bertepatan letak geografis kota Surabaya.

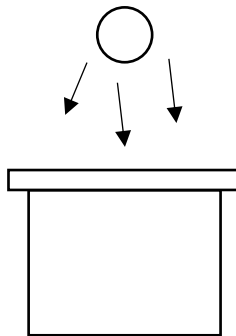
3.2 MODEL ESTIMASI IRADIANSI MATAHARI

Dalam pemodelan estimasi iradiansi matahari atau bisa disebut *solar insolation* adalah intensitas radiasi matahari yang bisa dimanfaatkan oleh panel surya. *Solar Insolation* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti atmosfer, sudut matahari dan jarak. Semakin sedikit lapisan atmosfer yang dilewati maka semakin banyak nilai *solar insolation* yang diperoleh. Hal ini juga terjadipaling tinggi ketika matahari berada tepat diatas disuatu area yang diinginkan (tegak lurus dengan panel surya). Ini Ini juga merupakan jarak terpendek antara matahari dan daerah. Ketika sudut matahari ke suatu daerah meningkat, jarak meningkat, dan banyak energi hilang melalui refleksi. Insolation mengacu pada kuantitas energi

radisi matahari yang diterima pada permukaan berukuran sekian meter (m^2) selama sejumlah waktu (T).

3.2.1 Iradiansi Langsung

Iradiansi langsung matahari yang diserap oleh panel surya tergantung oleh beberapa faktor seperti rasio massa udara (m), apparent extratereetrial flux (A) dan optical depth(k). Semua faktor tersebut masuk ke dalam persamaan untuk menghitung iradiansi yang mengenai permukaan bumi(I_b).



Gambar 3. 3 Rooftop Panel Surya dengan sudut 0°

Dalam menentukan rasio udara, digunakan persamaan 2.7 dimana misal pada hari pertama yaitu pada tanggal 1 januari pukul 11 siang dengan sudut latitude dan longitude di kota Surabaya dengan sudut panel surya sebesar 0° :

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right]$$

$$= 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (1 - 275) \right]$$

$$= 1234,9$$

$$m = \frac{1}{\sin \beta}$$

$$= \frac{1}{\sin 68,651^\circ}$$

$$= 1,073$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right]$$

$$= 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (1 - 100) \right]$$

$$= 0,139$$

$$Ib = Ae^{-km}$$

$$Ib = 1.234,9e^{-(0,139 \times 1,073)}$$

$$= 1.063 \frac{W}{m^2}$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos(\theta_s - \theta_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma$$

$$= \cos(68,651^\circ) \cos(-139,125^\circ - 0^\circ) \sin 0^\circ + \sin(68,651^\circ) \cos 0^\circ$$

$$\cos \theta = 0,9314$$

$$\theta = 104,856^\circ$$

$$Ibc = Ib \cos \theta$$

$$= 1.063 \times 0,9314$$

$$= 0,991 kW/m^2$$

Setelah diperoleh iradiansi yang mengenai permukaan bumi. Maka dapat diperoleh iradiansi langsung yang mengenai panel surya. Sesuai dengan persamaan 2.9. Perhitungan iradiansi langsung selama satu tahun akan menghasilkan sebesar :

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Ibc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 2388,086 \text{ KWh/m}^2$$

3.2.2 Iradiansi Tersebar

Iradiansi Difusi atau iradiansi tersebar yang dapat diserap panel surya dipengaruhi oleh difusi faktor (C), yang dimana difusi faktor ini berubah-ubah setiap hari selama satu tahun. Biasanya pada langit cerah ada sekitar 15% insolasi yang terdifusi. Saat kondisi panel surya pada kemiringan 0° . Dapat dilihat bahwa nilai iradiansi tersebar tertinggi terjadi pada bulan Juli sedangkan nilai iradiansi tersebar terendah terjadi pada bulan Februari.

$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right]$$

$$= 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (1 - 100) \right]$$

$$= 0,0553$$

$$Idc = Idh \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right)$$

$$= (1.603 \times 0,055) \left(\frac{1 + \cos 0^\circ}{2} \right)$$

$$= 0,0588 \text{ kW/m}^2$$

Nilai iradiansi pantulan yang diperoleh untuk hari ke 1 pada pukul 11 siang adalah sebesar $0,0588 \text{ kW/m}^2$. Namun untuk besar iradiansi pantulan selama satu tahun dapat diperoleh sebesar :

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Idc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 313,640 \text{ KWh/m}^2$$

3.2.3 Iradiansi Pantulan

Iradiansi terakhir yang dapat diserap oleh panel surya adalah iradiansi pantul. Hal ini dipengaruhi oleh besar nya sudut kemiringan panel surya dan kekasaran permukaan bidang yang memantulkan kemudian dikali berapa kali pantulan ρ . Pada kali ini nilai ρ sebesar 0,3.

$$\begin{aligned} I_{rc} &= \rho I_b (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \\ &= 0,3 \times 1.063 (\sin 68,651^\circ + 0,0588) \left(\frac{1 - \cos 0^\circ}{2} \right) \\ &= 0,157 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai iradiansi pantulan yang diperoleh untuk hari ke 1 pada pukul 11 siang adalah sebesar 0,157 kW/ m². Sedangkan besar potensi energi dari iradiansi pantulan selama satu tahun adalah :

$$\begin{aligned} E &= \sum_{\text{hari}=1}^{\text{hari}=365} \sum_{\text{jam}=1}^{\text{jam}=24} = I_{rc} \times \Delta h \times \Delta j \\ E &= 405,259 \text{ KWh/m}^2 \end{aligned}$$

3.2.4 Iradiansi Total

Pada sinar matahari yang dapat diolah oleh fotovoltaiik adalah iradiansi total :

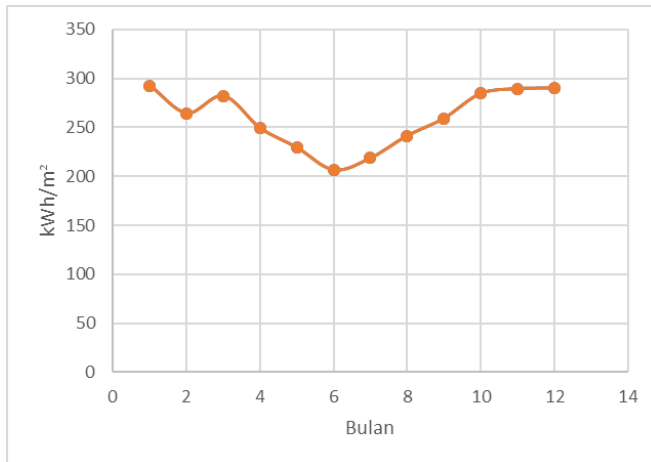
$$\begin{aligned} I_c &= I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \\ &= 0,991 + 0,0588 + 0,157 \\ &= 1,2066 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai iradiansi total yang diperoleh panel surya untuk hari ke 1 pada pukul 11 siang adalah sebesar 1,2066 kW/ m²

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Irc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 3.106,985 \text{ KWh/m}^2$$

Iradiansi total yang diserap oleh matahari adalah hasil penjumlahan dari iradiansi langsung, iradiansi difusi dan iradiansi pantul.



Gambar 3. 5 Kurva Iradiansi Total

Dari gambar 3.5 dapat dilihat bahwa nilai terbesar terjadi pada bulan januari dan nilai terendah pada bulan juni.

3.3 ESTIMASI POTENSI ENERGI

Daya masuk pada panel surya dihitung dengan jumlah iradiansi matahari yang diserap (I_c) dikali luas daerah permukaan panel surya (A). Hal ini berubah-ubah setiap hari dalam satu tahun. Hal ini diperlukan adanya estimasi untuk mengetahui besaran peluang disuatu tempat digunakan sebagai PLTS.

Estimasi pada penelitian kali ini diperhitungkan dalam waktu satu tahun dengan pengambilan data tiap jam.

3.4 ESTIMASI BIAYA INSTALASI

Pada kebutuhan instalasi bergantung pada berapa besar kapasitas daya yang bisa dihasilkan oleh panel surya untuk kemudian disesuaikan dengan kondisi bangunan yang akan dijadikan tempat peletakan panel surya. Bila potensi panel surya besar, maka biaya untuk instalasi juga butuh lebih banyak. Penentuan biaya ini terdiri dari dua hal yaitu biaya kebutuhan peralatan dan biaya operasional.

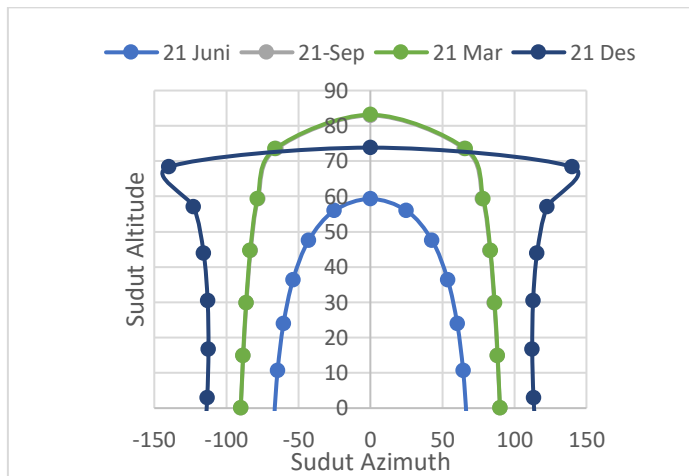
Kebutuhan biaya untuk peralatan juga beragam jenisnya, mulai dari jenis dengan kualitas rendah sampai dengan kualitas terbaik. Hal ini tentu berbanding lurus dengan besaran harga yang harus dikeluarkan. Setelah itu juga diperlukan tenaga yang handal untuk memasang dan merangkai segala peralatan tersebut sehingga menjadi PLTS dan dapat menghasilkan energi listrik.

BAB 4

SIMULASI DAN ESTIMASI POTENSI DAYA DAN BIAYA SISTEM PLTS SKALA RESIDENSIAL BERBASIS LOKASI DAN KONSTRUKSI BANGUNAN

4.1 Simulasi dan Analisis Posisi Matahari

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai simulasi dan analisis posisi matahari dalam tiap jam dalam jangka waktu satu tahun. Namun dalam tahapannya kita perlu mencari sudut-sudut yang dibutuhkan untuk mengetahui posisi matahari. Posisi matahari dapat diketahui dari sudut azimut (θ_s) dan sudut altitude (β) matahari.



Gambar 4. 1 Kurva Posisi Matahari

Letak sudut latitude dan sudut longitude diberikan sebesar $-7,27^\circ$ dan $112,1096^\circ$ sesuai pada letak kondisi kota Surabaya. Diperoleh hasil sudut altitude dan sudut azimut matahari seperti pada gambar 4.1.

4.2 Analisa Iradiansi

Pada bab ini akan dilakukan perhitungan iradiansi pada sebuah bangunan rumah tangga yang berada di Jl. Keputih 1 no 43 Surabaya. Dimana rumah ini memiliki luas atap 4x5 m. Kemudian pada atap rumah ini diberikan panel surya dengan kemiringan atap kedua sisinya sebesar 30°.



Gambar 4. 2 Denah Rumah

Tabel 4. 1 Sudut Kolektor

Sudut Panel 1 ($\Sigma 1$)	30°
Sudut Panel 2 ($\Sigma 2$)	30°

Sudut panel surya yang terpasang di dua sisi atap dipasang simetris sesuai struktur bangunan.

Tabel 4. 2 Sudut Azimut Kolektor

Sudut azimut kolektor 1 ($\Phi c1$)	0°
Sudut azimut kolektor 2 ($\Phi c2$)	180°

Sudut azimut kolektor pada panel surya di kedua sisi atap adalah menghadap utara dan selatan. Penempatan panel surya sangat berpengaruh terhadap nilai iradiansi.

4.2.1 Analisa Estimasi Iradiansi Langsung

Iradiansi langsung pada sisi atap yang diberikan kolektor berupa panel surya dengan kondisi penempatan sudut sesuai tabel 4.1 dan tabel 4.2, sehingga pada atap pertama yang menghadap utara menghasilkan potensi energi sebesar:

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Irc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 2.193,147 \text{ KWh/m}^2$$

Pada atap kedua yang menghadap arah selatan menghasilkan potensi energi sebesar:

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Irc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 1.946,491 \text{ KWh/m}^2$$

Nilai potensi energi dari iradiansi langsung yang bisa diperoleh adalah 2.193,147 KWh/m² pada atap 1 sedangkan pada atap 2 menghasilkan energi sebesar 1.946,491 KWh/m².

4.2.2 Analisa Estimasi Iradiansi Tersebar

Iradiansi tersebar yang berpotensi di kedua sisi atap dengan kondisi penempatan sudut sesuai kondisi atap bangunan yaitu 30° dengan satu sisi atapnya menghadap utara, dan satu sisi lainnya menghadap selatan.

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Ibc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 292,631 \text{ KWh}/m^2$$

kedua kolektor menghasilkan nilai irradiansi yang sama dikarenakan sudut pemasangan kolektor sama dan diperoleh nilai irradiansi tertinggi pada bulan Agustus. Sedangkan nilai potensi energi yang bisa diperoleh adalah 292,631 kWh/m² per tahun untuk setiap sisi atapnya.

4.2.3 Analisa Estimasi Irradiansi Pantulan

Estimasi nilai irradiansi pantulan yang terjadi pada kedua sisi atap Hal ini dipengaruhi oleh faktor irradiansi langit yang berubah-ubah setiap hari dan juga dipengaruhi letak geografis panel surya atau bangunan.

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Idc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 459,553 \text{ KWh}/m^2$$

Besar potensi energi untuk irradiansi pantulan dengan sudut kolektor 30° adalah 459,55 kWh/m² per tahun untuk setiap sisi atapnya.

4.2.4 Analisa Estimasi Irradiansi Total

Irradiansi total pada panel surya adalah hasil dari penjumlahan seluruh nilai irradiansi yang diberikan matahari yaitu irradiansi langsung, irradiansi tersebar dan irradiansi pantulan.

Pada sisi atap pertama yang menghadap utara, besar potensi energi total yang dapat dihasilkan adalah:

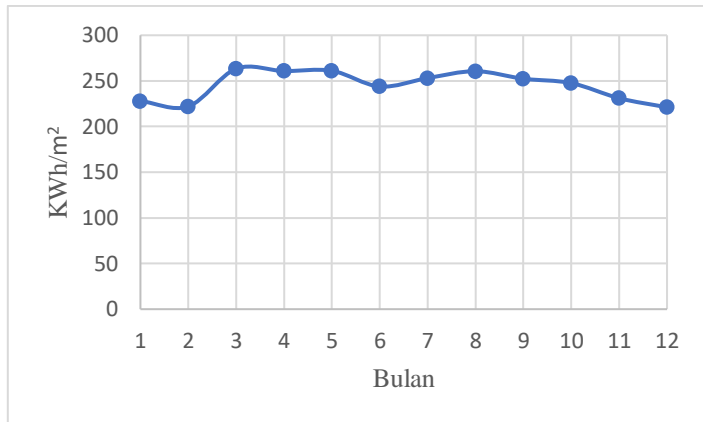
$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = Irc \times \Delta h \times \Delta j$$

$$E = 2.945,331 \text{ KWh}/m^2$$

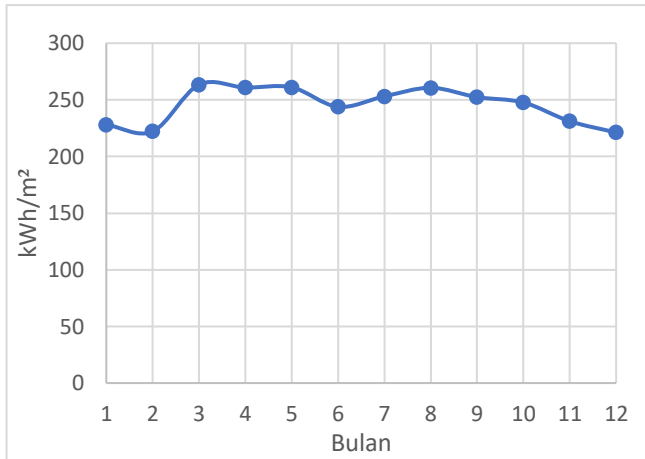
Sedangkan pada sisi atap kedua yang menghadap arah selatan menghasilkan energi total sebesar :

$$E = \sum_{hari=1}^{hari=365} \sum_{jam=1}^{jam=24} = I_{rc} \times \Delta h \times \Delta j$$

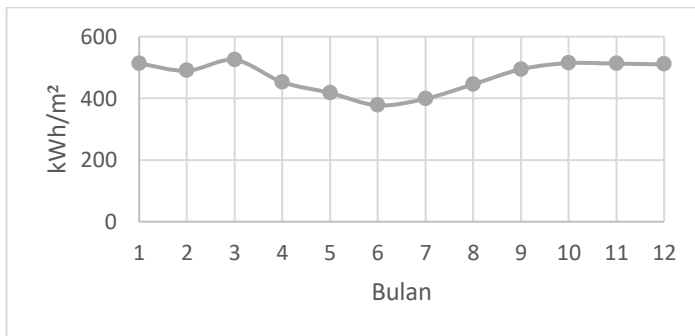
$$E = 2.698,675 \text{ KWh/m}^2$$



Gambar 4. 3 Kurva Iradiansi Total Kolektor 1



Gambar 4. 4 Kurva Iradiansi Total Kolektor 2



Gambar 4. 5 Kurva Iradiansi Total Kedua Kolektor

Nilai iradiansi total yang diperoleh selama satu tahun merupakan saat kondisi ideal atau kondisi cerah. Dimana kota Surabaya berpotensi mendapatkan energi iradiansi matahari untuk kedua kolektor sebesar 5.644 KWh/m² per tahun.

4.3 Potensi Energi

Potensi energi yang dapat dihasilkan pada bangunan adalah hasil dari jumlah total iradiansi kedua panel surya dikali luas panel surya yang terpasang. Luas atap rumah adalah 4 x 5 meter, namun yang mampu dipasang hanya 80% dari luas atap sebenarnya atau sekitar 15 meter persegi saja.



Gambar 4. 6 Luas atap yang dipasang Panel Surya

Sehingga potensi daya yang dapat dihasilkan pada bangunan dengan luas atap yang dapat dipasang panel surya 15 m² untuk sisi atap 1 yaitu

$$E = Ir \times P_{max}$$

$$E = 2.945,331 \times 1500 \text{ Wp}$$

$$= 4.417.500 \text{ kWh per tahun}$$

Sehingga potensi daya yang dapat dihasilkan pada bangunan dengan luas atap yang dapat dipasang panel surya 15 m² untuk sisi atap 2 yaitu

$$E = Ir \times P_{max}$$

$$P = 2.698,675 \times 1500 \text{ Wp}$$

$$= 4.047.000 \text{ kWh per tahun}$$

Sehingga total potensi energi yang dihasilkan kedua atap adalah 8.464.500 kWh per tahun.

4.4 Analisa Biaya Instalasi

Setelah dilakukan estimasi potensi energi pada bangunan, tahap berikutnya adalah estimasi kebutuhan biaya untuk instalasi PLTS skala residensial. Biaya ini terdiri dari biaya peralatan dan biaya operasional dimana masing-masing biaya dihitung sesuai harga yang ada dipasar.

4.4.1 Biaya Peralatan

Dalam pembuatan PLTS pada atap bangunan rumah tangga dibutuhkan beberapa peralatan untuk menunjang kinerjanya. Pada penelitian kali ini PLTS yang akan diinstal sebesar 3000 Wp. Melihat dari kemampuan bangunan yang akan dipasang panel surya pada atapnya.

1. Panel Surya

Luas atap bangunan yang dapat dipasang panel surya adalah sebesar 15 m². Dimana ada dua sisi atap dengan sudut instalasi panel surya sebesar 30° menghadap utara dan selatan. Spesifikasi panel surya terdapat pada tabel 4.3 bermerek Shinyoku Polycrystalline 100 Wp

Tabel 4. 3 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Daya Maksimum	100 Wp
Tegangan Maksimum	17,5 V
Arus Maksimum	5,71 A
Luas	1 m ²
Harga	Rp.1.300.000

Pada panel surya tersebut memiliki luas tiap panelnya adalah 1 m², maka diperlukan 30 buah panel surya karena atap yang dapat difungsikan sebesar 3x5 m² dengan dua sisi.

2. Exim Meter

Ekspor impor meter diperlukan untuk mengetahui daya yang kita gunakan dan kita hasilkan. Exim meter yang dipakai adalah tipe EASTRON SDM 220PV dengan spesifikasi seperti tabel 4.4

Tabel 4. 4 Spesifikasi Exim Meter

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan	220/230/110 V
Harga	Rp.385.000

3. Inverter

Inverter untuk mengkonversi tegangan DC ke AC, pada PLTS ini akan dipakai inverter dengan tipe GridTie Inverter SNV-GT-3001 SM dengan spesifikasi pada tabel 4.13 karena disesuaikan dengan kapasitas panel surya yang akan dipasang.

Tabel 4. 5 Spesifikasi Inverter

Spesifikasi	Keterangan
Maksimum Daya Input	3300 W
Maksimum Tegangan Input	500Vdc
Maksimum Arus Input	17 A
Harga	Rp.14.000.000

4. Mounting System

Mounting system diperlukan untuk penyangga panel surya. Mounting system ini terdiri dari beberapa komponen :

a. Racking

Penentuan bahan untuk penyangga panel surya yaitu panel surya dengan luas 1 m² disusun paralel sebanyak 5 buah, pada setiap sisi atap terdapat 3 baris susunan panel surya yang telah dibentuk paralel itu.

$$1 \text{ m}^2 \times 6 = 6 \text{ m}^2$$

$$6 \text{ m}^2 \times 3 \times 2 = 36 \text{ m}^2$$

Diperlukan racking aluminium sepanjang 36 m^2 untuk setiap sisi atap bangunan. Hal ini untuk menampung 15 buah modul panel surya. Selanjutnya untuk setiap 2 m^2 akan dikenakan biaya sebesar Rp.300.000 untuk pembelian aluminium tipe Solomontalu. Pada *racking* ini sangat berpengaruh terhadap kinerja dan daya tahan panel surya. Apabila pembuatan *racking* tidak sesuai, akan membuat panel surya tidak bekerja dengan baik dan mampu mengurangi usia penggunaan panel surya.

b. *Mid Clamp*

Setiap baris panel surya yang tersusun paralel 5 modul panel surya membutuhkan 12 *midclamp*. Pada satu sisi atap terdapat 3 baris panel surya yang tersusun paralel. Maka pada setiap sisi atap rumah membutuhkan :

$$3 \text{ baris} \times 12 \text{ buah} = 36 \text{ buah}$$

c. *End Clamp*

End clamp untuk setiap baris diperlukan 4 buah, pada satu sisi atap terdapat 3 baris panel surya yang tersusun paralel maka setiap sisi atap diperlukan :

$$4 \text{ buah} \times 3 \text{ baris} = 12 \text{ buah}$$

Sehingga untuk 2 sisi atap bangunan diperlukan :

$$2 \text{ sisi} \times 12 \text{ buah} = 24 \text{ buah}$$

5. *Grounding* atau pentanahan

Pada PLTS ini juga diperlukan sistem pentanahan untuk menjaga sistem tetap aman dan bekerja dengan baik. Maka digunakan kabel tipe BC 50 mm^2 sepanjang 12 meter untuk kedua sisi atap rumah. *Grounding* ini berfungsi untuk mengamankan peralatan serta manusia disekitar apabila terjadi hubung singkat atau kerusakan lainnya yang menimbulkan bahaya sengatan listrik.

6. Kabel Konektor

Kabel konektor diperlukan sebanyak 20 meter sesuai kebutuhan bangunan yang akan di instalasi untuk menghubungkan panel surya pada inverter, kemudian inverter menuju jaringan milik PT.PLN. Kabel yang digunakan harus disesuaikan inverter dan panel surya yang terpasang.

Tabel 4. 6 Kalkulasi Biaya Peralatan

Kalkulasi Peralatan				
Alat	Spesifikasi	Jumlah	Harga	Total
Panel Surya	Shinyoku Polycrystalline 100 Wp	30	Rp.1.300.000	Rp.39.000.000
Exim Meter	SDM PV 220	1	Rp.385.000	Rp.385.000
Inverter	SNV GT-3001- SM	1	Rp.14.000.000	Rp.14.000.000
Mounting	Racking 2m Solomontalu	36	Rp.300.000	Rp.10.800.000
	Mid clamp 40 mm ²	48	Rp.55.000	Rp.2.640.000
	End clamp 40 mm ²	72	Rp.55.000	Rp.3.960.000
Grounding	Kabel BC 50 mm ²	12	Rp.40.700	Rp.488.400
Kabel Konektor	Kabel Konektor Panel Surya 10 meter	2	Rp.414.000	Rp.414.000
Total				Rp.71.687.400

4.4.2 Biaya Operasional

Biaya ini merupakan biaya kebutuhan pokok untuk menunjang kinerja dalam instalasi PLTS. Biaya ini melingkupi dua hal yaitu teknisi dan supervisor sebagai upah mereka diberikan fee dan tunjangan

transportasi serta akomodasi yang diberikan selama pengerjaan instalasi hingga proses selesai. Biaya ini disesuaikan dengan standard jasa INKINDO tahun 2018.

Tabel 4. 7 Kalkulasi Biaya Operasional

Jabatan	Jumlah	Fee dan Transportasi akomodasi	Total
Supervisor	1 orang	Rp.500.000+Rp.250.000	Rp.750.000
Teknisi	2 orang	Rp.200.000+Rp.250.000	Rp.450.000
Total			Rp.1.200.000

4.4.3 Total Biaya

Biaya kebutuhan untuk instalasi adalah hasil penjumlahan dari biaya peralatan dan biaya operasional.

Tabel 4. 8 Kalkulasi Biaya Total

Kalkulasi Total	
Keterangan	Harga
Kebutuhan Peralatan	Rp.71.413.400
Kebutuhan Operasional	Rp.1.250.000
Total	Rp.72.663.400

Pada harga instalasi untuk bangunan rumah dengan luas 15 m² yang satu sisi nya menghadap utara dan satu sisi yang lain menghadap ke selatan dengan pemberian panel surya sebesar 3000 Wp adalah Rp.72.663.400

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dibahas, penulis dapat menarik kesimpulan bahwa posisi matahari bergantung pada sudut latitude dan longitude suatu tempat. Pada kali ini sudut tersebut berada di Kota Surabaya. Posisi matahari terbentuk atas dua sudut yaitu sudut altitude dan sudut azimuth untuk kemudian kedua sudut ini diperlukan dalam menghitung nilai iradiansi ideal yang terjadi disuatu tempat. Rumah yang terletak di Jl. Keputih 1A no 43 mendapatkan nilai iradiansi total untuk kedua sisi atapnya yang diberikan panel surya adalah sebesar 8.464.500 kWh/tahun. Untuk kebutuhan biaya instalasi yang diperlukan dengan kapasitas maksimum PLTS 3000 Wp adalah Rp. 72.663.400.

5.2 Saran

Berikut saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Perlu penelitian lebih lanjut optimalisasi perhitungan potensi energi yang dihasilkan panel surya dengan tambahan paramater *shading* analisis.
2. Pengaruh cuaca terhadap iradiansi yang diperoleh panel surya.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. R. Yandri, “PROSPEK PENGEMBANGAN ENERGI SURYA UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK DI INDONESIA,” vol. 4, no. 1, hlm. 6, 2012.
- [2] X. Zhang, B. Jiang, X. Zhang, F. Fang, Z. Gao, dan T. Feng, “Solar photovoltaic power prediction based on similar day approach,” 2017, hlm. 10634–10639.
- [3] A. Luque, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2E,” hlm. 1168.
- [4] G. M. Masters, “Renewable and Efficient Electric Power Systems,” hlm. 676.
- [5] IRENA, “technologies cost analysis solar photovoltaic.” IRENA, Jun-2012.
- [6] INKINDO, “Billing Rate INKINDO 2018.” INKINDO, 2018.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BIOGRAFI PENULIS



Lexy Akbar nama lengkapnya, biasa dipanggil dengan nama Alex. Anak terakhir kelahiran kota Gresik tahun 1996. Menamatkan pendidikan dasar hingga sekolah menengah pertama di kota kelahiran. Setelah itu melanjutkan studi nya diluar kota. Penulis berharap tugas akhir yang ia buat bisa bermanfaat untuk kemajuan peradaban dan kebaikan umat sesama. Sederhana itu.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

